Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

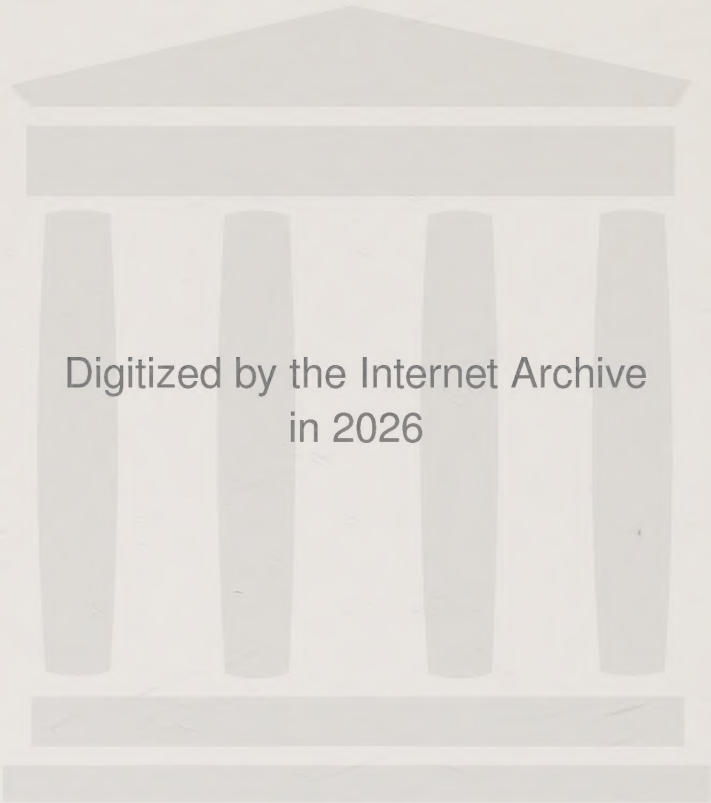
Untersuchungen zu den Mechanismen der Elektrolytveränderungen in Schweiß und Urin bei der Hitzeakklimatisation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
George N. Gage
aus Freetown/Sierra Leone

1970


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547603_0085

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Untersuchungen zu den Mechanismen der Elektrolytveränderungen in Schweiß und Urin bei der Hitzeakklimatisation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
George N. Gage
aus Freetown/Sierra Leone

1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Peiffer

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. H.J. Knüttgen

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG • Tübingen

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung und Fragestellung.....S.1
II. Methodik.....S.2
III. Ergebnisse.....S.5
IV. Zusammenfassung der Ergebnisse.....S.8
V. Diskussion.....S.9
Literatur.....S.14

I. Einleitung und Fragestellung

Ein Verständnis der Mechanismen, die beim Prozeß der Hitzeakklimatisierung beteiligt sind, ist nicht nur von Interesse für das Laboratorium, sondern hat auch große klinische und praktische Bedeutung, z.B. für die Erkennung und Behandlung von Hitzekrankheiten und für die arbeitsmedizinische Überwachung von Hitzearbeitern.

Unter Hitzeakklimatisierung versteht man die Anpassung eines Menschen in einer Umgebung, die heißer ist als seine natürliche oder gewohnte. Wenn dieser Prozeß, der im Durchschnitt 10 bis 20 Tage dauert, beendet ist, dann ist der Mensch fähig, ohne große Anstrengung zu leben und zu arbeiten (4,5,6).

Einige bemerkenswerte Veränderungen werden beim voll akklimatisierten Menschen beobachtet: Neben Erniedrigung der Körpertemperaturen, der Pulsfrequenz, einer anderen lokalen Verteilung der Schweißsekretion (6,12) vor allem eine Zunahme der Schweißmenge. Der Schweiß enthält dann auch weniger Salz als bei einem nicht akklimatisierten Menschen, ebenso der Urin.

Die Rolle, die die Nebenniere bei diesem Prozeß spielt, wurde vor längerer Zeit aufgrund der Untersuchungen von CONN et. al. erkannt (4,5,6). Aldosteron, ein Steroid der Nebenniere ist das wichtigste Hormon für die Regulation des Salzhaushaltes im Körper. Bei der Akklimatisation in einem natürlichen heißen Klima sind gesteigerte Aldosteronsekretion und Reduzierung der Elektrolytausscheidung nur nachweisbar, wenn die Salzaufnahme nicht zu hoch ist (FLETCHER et. al., 9)

Das Ziel meiner Arbeit ist es, die Elektrolyt-Änderungen in Schweiß und Urin einer normalen Versuchsperson bei leichter Arbeit in einem feuchtheißen Klima zu untersuchen. Auch Na, K, Cl, Eiweiß und Renin im Serum der Vp wurden dabei analysiert. Es wird dann versucht, die Frage zu beantworten, ob die Änderungen in den Elektrolyten von Schweiß und Urin durch Aldosteron bewirkt werden, und ob der Renin-Angiotensin-Mechanismus dabei eine Rolle spielt.

II. Methodik

Die Versuchsperson (männlich) war 26 Jahre alt, 174 cm groß und 63 kg schwer.

1. Training

Zunächst durchlief die Vp eine Trainingsperiode von 14 Tagen mit leichter Arbeit am Fahrradergometer (Belastung: 7 mkp/sec.). Die tägliche Arbeit bestand aus drei Perioden von je 45 Minuten. Zwischen den Arbeitsperioden hatte die Vp jeweils 15 Minuten Ruhepause. Sowohl während der Arbeit, als auch während der Pause wurden der Blutdruck und die Pulsfrequenz in Fünf-Minuten-Intervallen gemessen. Die Rektaltemperatur wurde vor Beginn der ersten und am Ende jeder Arbeitsperiode gemessen. Die Temperatur der Klimakammer schwankte zwischen 22 und 23 C.

2. Hauptversuch

Im Prinzip waren die Bedingungen, unter denen der Hauptversuch verlief, dieselben wie beim Training mit folgenden Modifikationen: die Temperatur der Klimakammer wurde erhöht auf 37 (36 - 38) C mit einer relativen Feuchtigkeit von 75%. Der Schweiß vom linken Unterarm und Unterschenkel wurde während der ersten Arbeitsperiode in Plastikbeuteln gesammelt. Venenblut zur Bestimmung von Renin, Serumelektrolyten und Gesamteiweiß wurde am 1., 3., 6., 8., 10., 13., 15. und 18. Tag (vor der ersten und unmittelbar nach dem Ende der dritten Tagesarbeit) abgenommen. Nach der dritten Arbeit ließ die Vp Urin, in dem - ebenso wie im Schweiß von Arm und Bein - Na und K flammenfotometrisch, Cl mercurimetrisch bestimmt wurden.
Die Reninbestimmungen wurden in der Medizinischen Poliklinik der Universität Tübingen durchgeführt, wofür ich Fräulein Barthelt und Herrn Doz. Dr. Klaus zu Dank verpflichtet bin.

Plasma-Renin-Bestimmung nach der Methode von BOUCHER et. al. (1):

Plasma aus Venenblut

Dabei wird als Renin-Substrat dasjenige Angiotensinogen benutzt, das in der zu untersuchenden Plasmaprobe selbst enthalten ist. Das mit Heparin (oder EDTA-NH_4) versetzte Blut wurde nach der Entnahme schnell eisgekühlt und sofort bei 0 C zentrifugiert, da Renin sonst endogenes Angiotensinogen unkontrollierbar verbraucht. Das während der Inkubation freigesetzte Angiotensin wird an einen dem Inkubationsgemisch zugesetzten Austauscher absorbiert und so vor dem Abbau durch Plasma-Aminopepti-

dasen und Endopeptidasen geschützt. Nach dreistündiger Inkubation des Plasma bei pH 5,5 und unter Schütteln bei 37 C (Warburg-Apparatur) mit einer Frequenz von 200/M wird das an das zugesetzte Austauschharz (Dowex 50 W-X 2) absorbierte Angiotensin mit Diäthylamin und Ammoniumhydroxid eluiert, nachdem im Vorlauf andere vasoaktive Substanzen wie Noradrenalin, Tyramin, Bradykinin und Vasopressin entfernt worden sind durch Waschen mit 15 m/0,2 N Ammoniumacetat (pH 6,0), 20 m/10% Essigsäure und 15 m/Wasser.
Das Eluat wurde gefriergetrocknet und in 1ml 20%-igen Äthanol aufgelöst. Anschließend erfolgt die biologische Testung des freigesetzten Angiotensins auf Grund seiner pressorischen Wirkung an Ratten. Nephrektomierte Ratten sind vorzuziehen, da bei diesen die Blutdruckwirkung von Angiotensin verstärkt ist. Einen konstanten Basisblutdruck erzielt man auch ohne Nephrektomie durch Injektion des Ganglienblockers Pentolinium (Ansolysen^{R}). Eine unerläßliche Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit des Verfahrens ist, daß man mit silikonisierten Gläsern oder Polyäthylengefäßen arbeitet, da Angiotensin bis zu 90% an Glas absorbiert wird. Die Fehlerbreite der Bestimmung beträgt $\pm$21%. Die Berechnung der Renin-Aktivität oder besser "reninartigen Aktivität" im Plasma erfolgt in Nanogramm (ng) freigesetztes Angiotensin/Liter Plasma/Minute.

Das Gewicht der Vp wurde während der täglichen Versuchszeit dadurch konstant gehalten, daß die Versuchsperson dieselbe Menge Wasser trank, die sie bei der vorhergehenden Arbeit verloren hatte. Die Trinkmenge entsprach also der Differenz des Körpergewichts vor und nach jeder Arbeitsperiode. Das Experiment wurde über 18 Tage durchgeführt mit zwei Unterbrechungen, da an Sonntagen kein

Versuch stattfand, d.h. der Versuch bestand aus 16 Arbeitstagen in der Klimakammer. Zwischen den insgesamt etwa 4 Stunden täglich dauernden Klimakammeraufenthalten führte die Vp ihr gewohntes Leben.

III. Ergebnisse

1. Gesamtschweißmenge:

Die in den 3 Arbeitsstunden produzierte Schweißmenge stieg vom 1. bis zum letzten Versuchstag von 47 auf 205 ml/3h. Die Schweißmenge der ersten Arbeit stieg von 20 auf 125 ml/h.

2. Schweißproduktion von Unterarm und Unterschenkel:

Die in den Plastikbeuteln gesammelte Schweißmenge des Unterarms stieg von 10 auf 60 ml/45 min., die Schweißmenge des Unterschenkels von 8 auf 60 ml/45 min.

3. Schweißelektrolyte:

A) Arm:

Vom 1. bis zum 4. Tag und noch einmal vom 14. Tag bis zum Ende des Versuches konnte ein starker Abfall in der Natrium- und Chlor-Konzentration beobachtet werden, und jedesmal nach Unterbrechung des Experimentes, also nach dem Wochenende (4. - 6. und 11. - 13. Tag), war ein leichter Anstieg festzustellen. Vom 16. bis 18. Tag war der Verlauf der Natrium- und Chlor-Konzentration fast konstant. In den ersten neun Tagen und in den zweiten neun Tagen liegen die Werte für Kalium jeweils auf dem gleichen Niveau, jedoch liegen sie in den ersten neun Tagen etwas höher (Abb. 1).

B) Bein:
Ähnliches wurde am Bein beobachtet (Abb. 2). Die Werte von Na und Cl am Bein sind jedoch an den meisten Tagen höher als am Arm.

C) Na/K Schweiß:
Das Verhältnis von Natrium und Kalium im Schweiß fiel während der ersten neun Tage von 10,5 - 15 auf 8 - 9 (Abb. 3). Vom 9. Tag an stieg es auf 20 - 28 und fiel dann wieder auf etwa 20. Fast ausnahmslos liegt das Verhältnis Na/K im Armschweiß etwas höher als im Beinschweiß.

4. Urinelektrolyte (Abb. 4)

A) Die Na- und Cl-Konzentration im Urin fiel vom 2. bis zum 4. Tag unter die Werte des ersten Tages, stieg dann unter Schwankungen etwas über den Ausgangswert und bewegte sich in den letzten 4 Tagen im Bereich der Werte des 1. Tages. Die Cl-Konzentration lag um 20 - 70 mval/L über der Na-Konzentration.
Die Kalium-Konzentration zeigte einen starken Anstieg vom 1. bis zum 6. Tag und erreichte dann unter großen Schwankungen langsam ein fast konstantes Niveau vom 14. bis 18. Tag.

B) Das Verhältnis von Na/K im Urin war am 1. Tag 2,0, am Ende des 18. Tages 0,62. Die Werte liegen sonst zwischen 0,32 und 0,98 mit Ausnahme eines Wertes von 1,8 am 13. Tag nach der Unterbrechung am Wochenende; vielleicht ist diese vorübergehende Erhöhung durch eine hohe Salzaufnahme der Vp zu erklären (Abb. 5).

5. Serumelektrolyte, Serumeiweiß und Reninwerte im Serum:

Die folgende Tabelle 1 gibt die Werte für Natrium, Chlor und Kalium, außerdem für Gesamteiweiß und Renin im Serum vor Beginn und am Ende der Tagesarbeit an.

Tab.1: (Die Werte ohne Klammern betreffen die Messungen vor Beginn der Tagesarbeit, Werte in Klammern Messungen am Ende der Tagesarbeit. Na, Cl und K in mVal/L)

Tag	Na	Cl	K	Eiweiß g%	Renin ng/3h/10ml
1.	142(138)	111(110)	5(4)	8 (8,5)	7 (6)
3.	143(138)	111(110)	4 (4)	7,8(8,4)	5 (6)
6.	142(145)	110(110)	4 (4)	7,4(7)	4 (5)
8.	144(138)	103(108)	4 (4)	6,7(7,5)	7 (8)
10.	146(145)	107(110)	5 (4)	7,1(8)	4 (4)
13.	143(141)	107(109)	4 (4)	7,3(8,2)	7 (8)
15.	143(141)	106(109)	5 (4)	7,5(8,2)	5 --
18.	142(143)	106(111)	5 (5)	6,8(7,2)	5 -

In den Abb. 6 und 7 sind die Werte graphisch dargestellt.
Die Kurven zeigen fast in jedem Fall einen beinahe parallelen Verlauf. Im Verlauf der Akklimatisation kam es zu keinen Änderungen der verschiedenen Serumwerte. Es ergaben sich folgende Mittelwerte:
Natrium: 143 (141), Chlor: 108 (109), Kalium: 4,5 (4), Eiweiß: 7,3 (7,9), Renin: 5,5 (6).

Auch der Blutdruck der Vp war während des Versuchs stabil (zwischen 120/55 und 118/58).

Wie man aus den obigen Ergebnissen ersehen kann, lag der Natrium- und Chlor-Spiegel des Blutes innerhalb

der normalen Grenzen, und die täglichen Werte im Serum der Vp waren praktisch konstant. Dieser Befund, zusammen mit dem konstanten Blutdruck, erklärt wohl auch, daß sich der Renin-Spiegel des Serums als konstant erwies und nicht signifikante Änderungen zeigte.
Man hätte einen Anstieg des Renin erwarten müssen, wenn eine deutliche Verminderung von Natrium im Serum, zusammen mit einem Abfall des Blutdrucks, gemessen worden wäre (7,8,10,13,17).
Der einzige signifikante Unterschied bei den Serumwerten vor bzw. nach der täglich dreistündigen Hitzearbeit ist eine Erhöhung der Gesamteiweißkonzentration. Nach neueren Untersuchungen (SENAY, 15) läßt sich daraus aber kein sicherer Schluß auf eine Verminderung der zirkulierenden Plasmamenge ziehen.

IV. Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Die Konzentration von Natrium, Chlor und Kalium im Schweiß nahm ständig ab und die Schweißmenge nahm während des Versuchs ständig zu. Mit anderen Worten eine größere Menge eines elektrolytärmeren Schweißes wurde sezerniert.

2. Die Elektrolytausscheidung im Urin verhielt sich anders: Natrium und Chlor zeigten zwar anfänglich eine Verminderung der Konzentration, jedoch war diese nicht progressiv. Kalium zeigte einen sofortigen, steilen Anstieg über vier Tage und hielt sich dann unter Schwankungen auf einem konstant erhöhten Niveau.

3. Der Quotient Na/K nahm im Schweiß zu und im Urin ab.

4. Sowohl die Elektrolyte des Serums als auch die Gesamt-Eiweiß-Konzentration änderten sich nicht mit der Akklimatisation. Auch die Konzentration des Renin änderte sich nicht.

V. Diskussion

CONN hat festgestellt, daß Aldosteron sowohl eine Verminderung der Konzentration von Natrium und Chlor im Schweiß bewirkt als auch das normale Verhältnis von Natrium und Chlor umkehrt (3,4,5). So reabsorbieren unter dem Einfluß eines deutlichen "Aldosteron-Effektes" die Tubuli der Schweißdrüsen mehr Natrium als Chlor. Dasselbe Phänomen ist auch in den Tubuli der Nieren zu beobachten, aber es ist relativ kurzfristig.
Die gleiche Charakteristik der Schweiß-Sekretion (niedrige Konzentration der Elektrolyte mit Umkehrung des Natrium-Chlor-Verhältnisses) wurde auch an vielen Patienten gefunden, die an einer exzessiven funktionellen Aktivität der Nebennierenrinde, dem sog. CONN-Syndrom, litten.
Im Gegensatz dazu liegen die Werte von Natrium und Chlor bei Patienten, die an einer Insuffizienz der Nebennierenrinde erkrankt sind (Morbus ADDISON), viel höher als bei Gesunden (3,4).
CONN et. al. fanden auch, daß sich bei der Anwendung von Aldosteron und dessen Derivaten die Werte von Natrium und Chlor verminderten und wieder anstiegen, wenn dieses entzogen wurde.
Bei operierten Patienten wurde beobachtet, daß während

der ersten drei postoperativen Tage eine Tendenz besteht, eine ungewöhnlich große Menge von zugeführtem NaCl zu retinieren. Dies wurde in Beziehung gesetzt zu dem Effekt des Aldosteron, das in größeren Mengen in der Phase nach der Operation sezerniert wird. Die Rolle der Nebennierenrinde und des Hormones Aldosteron in der Regulation des Salz-Haushaltes des Körpers ist also bedeutend.

Der Mechanismus, durch welchen der Körper verdünnten Schweiß über den Aldosteron-Effekt produziert, wird im gesunden Menschen während des Prozesses der Hitzeakklimatisation aktiviert. Außerdem wird er mit größerer Intensität aktiviert in voll akklimatisierten Menschen, die in der Hitze arbeiten, wenn die Salzzufuhr abrupt reduziert wird. Die Aktivierung dieses Mechanismus wurde jedesmal in Begleitung einer negativen Stickstoff-Bilanz beobachtet (3,4,6,7).

Die Sekretion von Aldosteron steht nur in engem Zusammenhang mit dem Renin-Angiotensin-System. Renin ist ein Enzym, das von den juxtaglomerulären Zellen der Nieren erzeugt wird. Die Produktion von Renin wird vermehrt unter folgenden Bedingungen:

1. Natriummangel (z.B. diätbedingt),
2. bei Ischämie der Nieren durch Nierenarteriendrosselung,
3. bei der Verminderung des Blut- oder Plasmavolumens im Schock bzw. bei Zuständen, die reaktiv auf Hyperaldosteronismus entstehen, z.B. Leberzirrhose und Nephrose.

Andererseits ist die Produktion vermindert bei vermehrter Zufuhr von Salz oder Aldosteron.

Renin wird ins Blut sezerniert, wenn die normale

Gefäßwandspannung im Nierengebiet erniedrigt ist; dies führt zu einer vermehrten Bildung von Angiotensin II: Renin → Angiotensin I → Angiotensin II → Aldosteron.

Natriummangel führt sowohl durch die Stimulation der Barorezeptoren im Vas afferens der Niere (Hypovolämie und Hypotonie durch Natriummangel), als auch über die Chemorezeptoren in der Macula densa zu einer Stimulation der Reninsekretion (12).
Angiotensin II vermehrt die Quantität und die Rate der Aldosteron-Produktion 2 - 10 mal, ohne daß dabei der Blutdruck deutlich steigt.
Beim primären Aldosteronismus wurde beobachtet, daß die erhöhte Aldosteron-Sekretion ohne eine entsprechende Vermehrung von Angiotensin bzw. Renin einhergeht.

In Experimenten mit gesunden Personen beobachtete CONN die folgende Aldosteron-ähnliche Wirkung von ACTH (3):

a) Schweiß: Bei täglicher Gabe des Hormons (ACTH) verursachte es eine fortschreitende Verminderung der Natrium- und Chlor-Konzentration, und bei Entziehung des Hormons zeigte sich ein "rebound" (sprunghafter Anstieg) in der Konzentration, der einen gleichen oder höheren Wert als den anfänglichen erreichte; danach folgte eine vorübergehende sekundäre Verminderung.
b) Urin: Am ersten Tag der ACTH-Gabe fand eine Kalium-Diurese statt, die Kaliummenge erreichte aber bald wieder ein Niveau, das dem Anfangswert gleich war. Natrium und Chlor wurden sofort intensiv retiniert (im Schweiß wenig ausgeschieden); diese Retention hielt acht Tage an, und es entwickelte sich ein

Ödem, verbunden mit Gewichtszunahme. Am 9. und 10. Tag der ACTH-Gabe bemerkte CONN einen charakteristischen "rebound despite continued administration". Der sprunghafte Anstieg begann am 3. Tag der ACTH-Gabe, und die Natrium- und Chlor-Werte waren am 5. Tag gleich dem Anfangswert (escape-phaenomen).

Der charakteristische "Aldosteron-Effekt" im Schweiß und in der renalen Exkretion der Elektrolyte wird also auch durch ACTH produziert.
Im Schweiß fand dagegen kein "rebound" in der Konzentration von Natrium und Chlor statt, solange ACTH gegeben wurde.

In unserem Versuch ergaben sich entsprechende Änderungen im Laufe der Hitzeakklimatisation: 1. Progressive Retention von Natrium und Chlor im Schweiß, der vermehrt produziert wurde, 2. starke Kalium-Diurese im Urin, die vier Tage dauerte und 3. eine vorübergehende Retention von Natrium und Chlor im Urin mit "rebound" am 5. Tag. Eine Gewichtszunahme war bei unserer Versuchsperson jedoch nicht bemerkbar.
Diese Ergebnisse sprechen für einen Aldosteron-Effekt beim gesunden Menschen im Verlauf der Hitzeakklimatisierung. Dies ist ein adaptiver Mechanismus für die Konservierung von Körpersalz. Der erste Schritt dabei dürfte die Aldosteron-bedingte Verminderung der NaCl-Ausscheidung im Urin sein, die dann mit zunehmender Elektrolyt-Konservierung im Schweiß wieder zurückgeht. Eine gesteigerte Kalium-Diurese mit Abnahme des Na/K-Quotienten blieb jedoch bis zum 18. Tag nachweisbar. Offenbar bewegte sich der Elektrolythaushalt der Vp in den letzten drei Tagen bei ungewöhnlich hohen Schweißmengen nur knapp über der Grenze

des Natriummangels (minimale Konzentration 50 mVal/L).

Die Befunde haben jedoch keinen Anhaltspunkt dafür ergeben, daß der Renin-Angiotensin-Mechanismus für die Elektrolytveränderungen bei der Hitzeakklimatisation entscheidend war, offenbar, weil weder Blutdruck noch Blutvolumen, noch Serum-Na sich änderten. Es muß vorläufig offen bleiben, ob im Falle eines ausgesprochenen Salzmangels mit seinen Folgen - Dehydratation und Hypovolämie - eine erhöhte Reninausschüttung eintritt.

Literatur:

(1) Boucher, R. et.al.: New Procedure for Measurement of Human Plasma Angiotensin and Renin Activity Levels. Canad. Med. Assoc. J. 90, 194 (1964)

(2) Cook, W.F. and Pickering, G.W., J. Physiol. 143, 78 (1958)

(3) Conn, J.W.: Electrolyte Composition of Sweat: Clinical Implications as an Index of Adrenal Cortical Function. Arch. Intern. Med. 83, 416 (1945)

(4) Conn, J.W. and Louis, L.H.: Production of Endogenous "Salt-Active" Corticoids as Reflected in Concentrations of Sodium and Chloride of Thermal Sweat. J. Clin. Endocrinol. 10, 12 (1950)

(5) Conn, J.W.: Aldosteronismus. Das Medizinische Prisma. 2, 66

(6) Conn, J.W., Johnson, M.W. and Louis, L.H.: Acclimatisation to Humid Heat: Function of Adrenal Cortical Activity. J. Clin. Invest. 25, 912 (1946)

(7) Conn, J.W., Cohen, E.L. and Rovner, D.R.: Supression of Plasma Renin Activity in Primary Aldosteronism. Distinguishing Primary from Secondary Aldosteronism in Hypertensive Disease. J.A.M.A. 190, 213 (1964)

(8) Conn, J.W.: In discussion of Paper "The Functions for Renin and Angiotensin" by W.S. Peart at Laurentian Hormone Conf. Sept. 8 (1964)

(9) Fletcher, K.A., C.S. Leithead, T. Deegan, M.A. Pallister, A.R. Lind and B.G. Maegraith: Aldosterone excretion in acclimatization to heat. Ann. trop. Med. Parasit. 55, 498 (1961)

(10) Heizmann, A., Klaus, D. und Sadovski, P.: Ergebnisse von Bestimmung des Plasma-Renins. Deutsche Medizinische Wochenschrift Nr. 46 (1967)

(11) Heizmann, A. und Klaus, D.: Methoden für die Bestimmung der Reninaktivität im Plasma. Z. Klin. Chemie 6, 1 (1968)

(12) Höfler, W.: Verhalten der Schweißsekretion bei der Akklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 317 - 326 (1966)

(13) Klaus, D.: Physiologie und Pathologie des Renin-Angiotensin-Systems. Die Medizinische Welt Nr. 50 (1964)

(14) Koczorek, A.: Aldosteronismus. Der Internist 5 (1964)

(15) Senay, L.C. and Christensen, M.L.: Variation of certain blood constituents during acute heat exposure. J. Appl. Physiol. 24, 302 - 309 (1968)

(16) Tobian, L.: Sodium, Renal Arterial Distention and Juxtaglomerular Apparates. Canad. Med. Assoc. J. 90, 160 (1964)

(17) Weidmann und Siegenthaler: Renin-Angiotensin-Aldosteron-System bei hypertensiven Zuständen. Die Medizinische Welt 43.

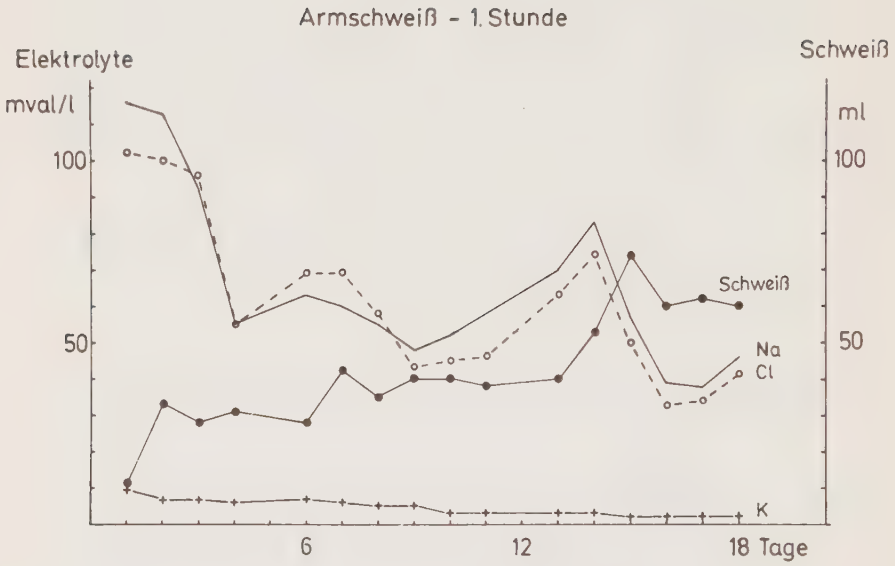


Abb.1. Schweißproduktion des linken Unterarms; Natrium-, Chlorid- und Kalium-Konzentration im Armschweiß in der ersten Stunde.

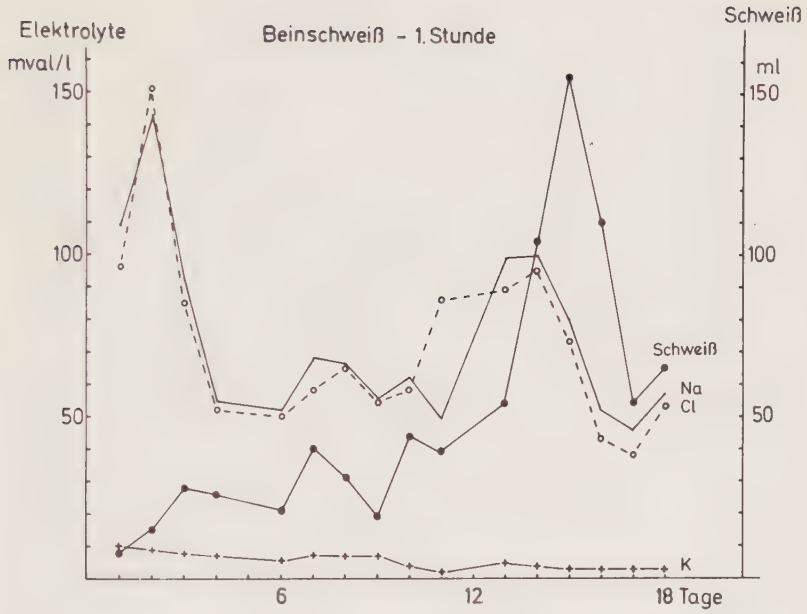


Abb.2. Schweißproduktion des linken Unterschenkels; Natrium-, Chlorid- und Kalium-Konzentration im Beinschweiß in der ersten Stunde.

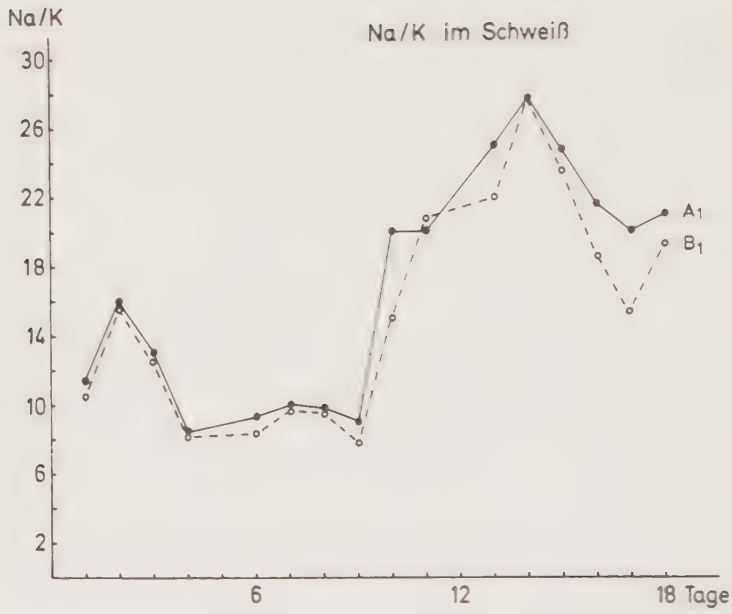


Abb.3. Verhältnis von Natrium:Kalium im Schweiß in der ersten Stunde vom linken Unterarm (A_1) und linken Unterschenkel (B_1).

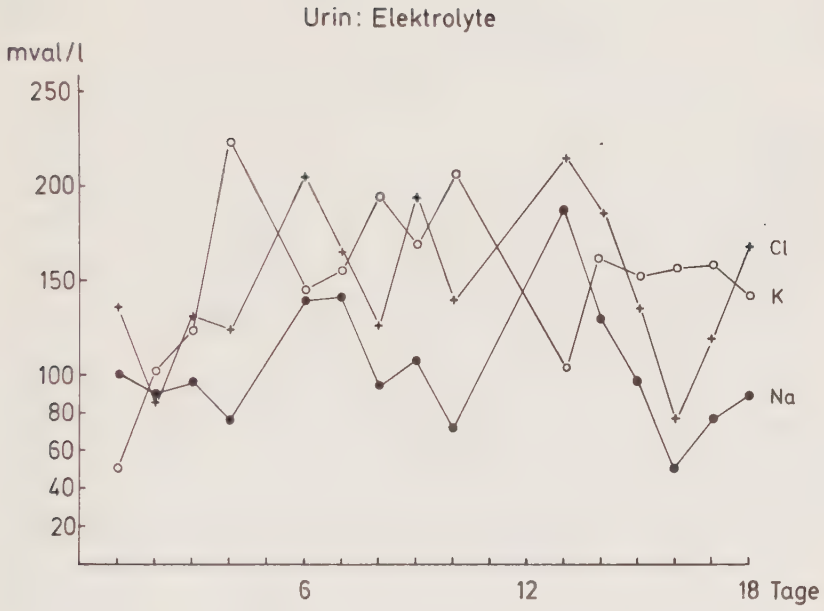


Abb.4. Die Konzentration von Natrium, Chlorid und Kalium im Urin im Verlauf des Versuches.

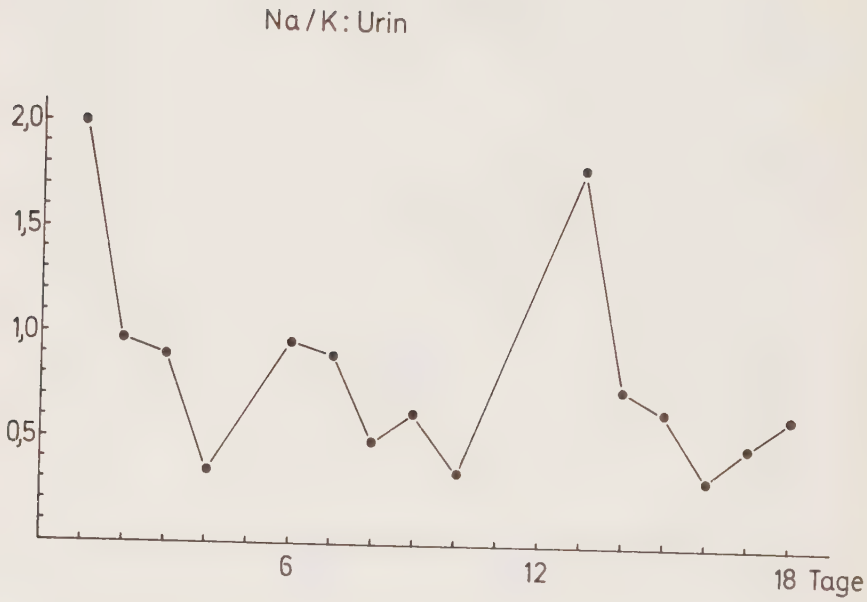


Abb.5. Das Verhältnis Natrium:Kalium im Urin
(geliefert am Ende des Tages)

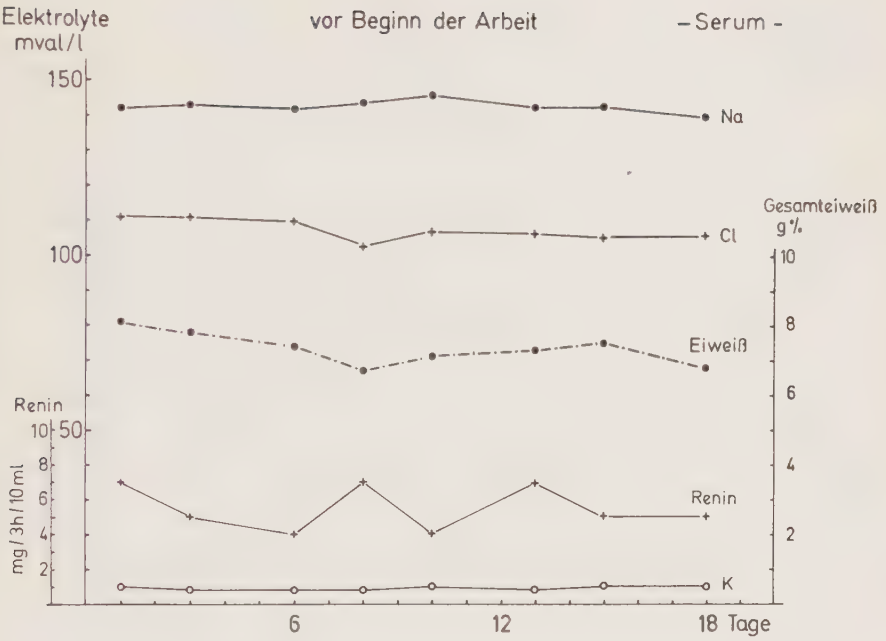


Abb.6. Konzentration von Natrium, Chlorid und Kalium, sowie Gesamteiweiß und Renin im Serum des Venenblutes, entnommen vor Beginn der ersten Tagesarbeit.

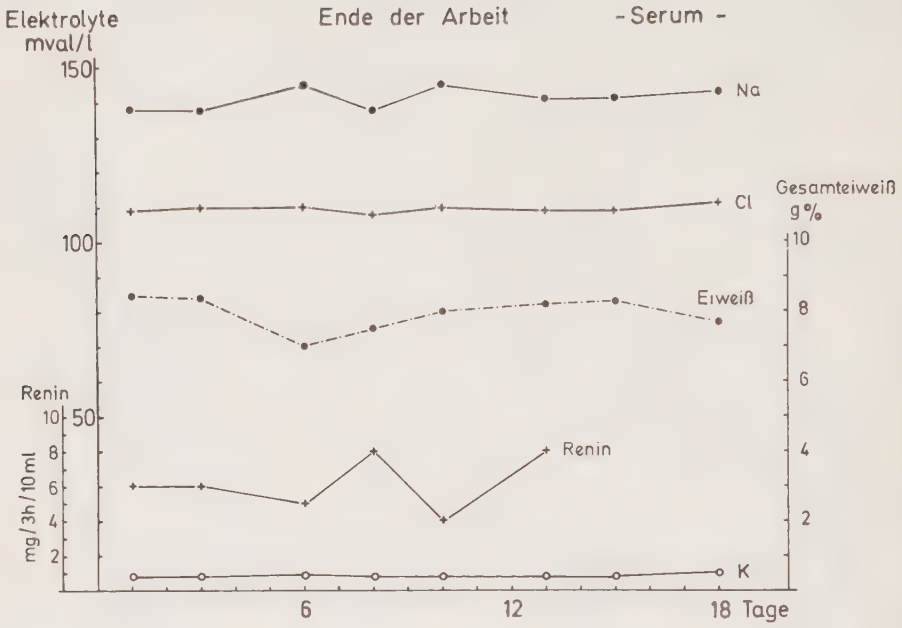


Abb.7. Konzentration von Natrium, Chlorid und Kalium, sowie Gesamteiweiß und Renin im Serum des Venenblutes, entnommen unmittelbar nach dem Ende der dritten Tagesarbeit

Für die Uberlassung des Themas und seine wertvollen Ratschläge danke ich Herrn Doz.Dr. W. Höfler.
Mein Dank gilt außerdem Fräulein I. Herman, die mir bei der praktischen Durchführung sehr behilflich war.

Lebenslauf

Ich, George Nattaniel Gage, bin am 12.2.1938 in Freetown, Sierra Leone (West Africa) geboren.

Von 1951 bis 1958 besuchte ich die Prince of Wales Secondary School in Freetown, wo ich das West African School Certificate und das Cambridge Higher School Certificate erworben habe. Von 1959 bis 1962 war ich als Lehrer im Gymnasium in Magburalca tätig.

Im Sommer 1963 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität Tübingen. Das Vorphysikum legte ich im April 1964 und das Physikum im Oktober 1966 ab. Das Staatsexamen habe ich am 5. Februar 1970 beendet.